粉葛主要营养物质、异黄酮成分的积累规律及其相关性分析

曹升[1]，马崇坚[3,4]，尚小红[1]，吴芳芳[2]，施平丽[1]，陈会鲜[1]，谭栀恩[2]，严华兵[1]，吴正丹[1]，王颖[1*]，韩伟[3,4]，于白音[3,4]

（1. 广西壮族自治区农业科学院，南宁 530007；2. 广西壮族自治区药用植物园，南宁 530010；3. 韶关学院英东生物与农业学院，广东 韶关 512005；4. 广东省粤北食药资源利用与保护重点实验室，广东 韶关 512005）

摘　要：为确定粉葛的最佳采收时期及各部位的应用价值，探索粉葛主要营养物质与异黄酮成分的积累规律及相关关系，该研究以广西藤县粉葛为材料，采用测试盒法、酶重量法、高效液相色谱法等生理生化技术，测定成熟期不同部位异黄酮成分的含量及不同生长时期粉葛块根主要营养物质、异黄酮成分的含量，分析各营养物质与异黄酮成分积累的相互关系。结果表明：（1）在成熟期，粉葛不同部位的染料木素含量差异均不显著，但叶片的大豆苷元含量显著小于中藤，根头和藤的总异黄酮、葛根素、大豆苷的含量显著大于叶和块根，且根头和藤的葛根素含量均超过 1.00%。（2）不同生长时期，粉葛的淀粉、总多糖、粗蛋白、可溶性蛋白的积累在 11 月、12 月达到最大，不溶性膳食纤维的积累在 12 月最小，可溶性膳食纤维在 8 月、12 月的积累量最大，总异黄酮和葛根素在 8 月、9 月的积累量最大。（3）总异黄酮、葛根素的积累与淀粉、多糖的积累呈显著负相关，异黄酮、葛根素的积累与不溶性膳食纤维的积累呈显著正相关关系。综上结果认为：粉葛的根头、藤蔓含有丰富的总异黄酮、葛根素、大豆苷，具有很好的药用开发价值；粉葛药用的最佳采收期在 8—9 月，粉葛食用的最佳采收期在 11—12 月；粉葛的淀粉、多糖的积累与异黄酮、葛根素的积累呈正向相关，不溶性膳食纤维的积累与异黄酮、葛根素的积累呈负向相关。该研究结果阐明了粉葛主要营养物质、异黄酮成分的积累规律及其相关性，为粉葛的综合开发利用以及采收时期的确定提供参考依据。

关键词：粉葛，营养物质，异黄酮成分，积累规律，相关性

中图分类号：Q945　　　　**文献标识码**：A

Research on the accumulation rule of main nutrients and isoflavones and their relationship in *Pueraria lobata* var. *thomsonii*

基金项目：国家自然科学基金（31960420）；广西自然科学基金（2021GXNSFBA220026）；广西重点研发计划（桂科 AB22080090）；广西农业科学院科技先锋队专项行动（桂农科盟 202214）；广西农业科学院基本科研业务专项（桂农科 2021YT057）；韶关市科技计划项目（210805114531189）[Supported by Natural Science Foundation of China (31960420); Guangxi Natural Science Foundation Project (2021GXNSFBA220026); Guangxi Key R & D Program Project (Guike AB22080090); Special Action of Science and Technology Pioneer of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Guinongkemeng 202214); Special Project for Basic Scientific Research of Guangxi Academy of Agricultural Sciences (Guinongke 2021YT057); Shaoguan Science and Technology Program（210805114531189）] 。

第一作者：曹升(1986-)，硕士，副研究员，主要从事高产高效栽培及综合技术育种研究，（E-mail）caoshengyp@163.com。

[*]**通信作者**：王颖，高级工程师，研究方向为淀粉类产品加工开发利用研究，（E-mail）421032125@qq.com。

CAO Sheng[1], Ma Chongjian[3,4], SHANG Xiaohong[1], WU Fangfang[2], SHI Pingli[1], CHEN Huixian[1], TAN Zhien[2], YAN Huabing[1], WU Zhengdan[1], WANG Ying[1*], Han Wei[3,4], Yu Baiyin[3,4]

(1. *Guangxi Academy of Agricultural Sciences*, Nanning 530007, China; 2. *Guangxi Zhuang Autonomous Region Medicinal Botanical Garden*, Nanning 530010, China; 3. *Henry Fok School of Biology and Agriculture, Shaoguan University*, Shaoguan 512005, Guangdong, China; 4. *Guangdong Provincial Key Laboratory of Utilization and Conservation of Food and Medicinal Resources in Northern Region,* Shaoguan 512005, Guangdong, China)

Abstract: In order to determine the optimal harvesting period and the application value of each part of *Pueraria lobata* var. *thomsonii* and to explore the correlation between the main nutrients and the isoflavones, Tengxian County *P. lobata* var. *thomsonii* was used as the material,the contents of isoflavones in different parts , the contents of main nutrients and isoflavones in different growth periods were determined by test box method, enzyme gravimetric method, Soxhlet extraction method, high performance liquid chromatography and other physiological and biochemical techniques， and the relationship between the accumulation of various nutrients and isoflavones was analyzed to clarify the accumulation rule of main nutrients and isoflavonoids and their relationship in *P. lobata* var. *thomsonii*. The results were as follows: (1)At the mature stage, the content of genistein in different parts of *P. lobata* var. *thomsonii* was not significantly different, but the content of daidzein in leaves was significantly lower than that in middle vine, and the content of total isoflavones, puerarin and daidzein in roots and vines was significantly higher than that in leaves and roots, and the content of puerarin in roots and vines was more than 1.00%. (2)The accumulation of starch, polysaccharide, crude protein, soluble protein and soluble dietary fiber reached the maximum in November and December, the accumulation of insoluble dietary fiber reached the minimum in December, the accumulation of soluble dietary fiber was the largest in August and December, and the accumulation of total isoflavones and puerarin reached the maximum in August and September. (3)The correlation analysis results showed that the accumulation of isoflavones and puerarin was negatively correlated with the accumulation of starch and polysaccharide; The accumulation of isoflavones and puerarin was positively correlated with the accumulation of insoluble dietary fiber. Therefore, it can be concluded that the root head and vine of pueraria powder contain rich total isoflavones, puerarin, daidzein, which has good value for medicinal development. The best harvest time for medicinal using is from August to September, and the best harvest time for edible using are November and December. The accumulation of starch and polysaccharide of *P. lobata* var. *thomsonii* is positively correlated with the accumulation of isoflavones and puerarin, while the accumulation of insoluble dietary fiber is negatively correlated with the accumulation of isoflavones and puerarin.This study clarify the accumulation rule and correlation of the main nutrients and isoflavones in *P. lobata* var. *thomsonii*, and provides a reference for the comprehensive development and utilization of *P. lobata* var. *thomsonii* and the determination of the harvest time.

Key words: *Pueraria lobata* var. *thomsonii*, nutrients, isoflavone components, accumulation rule, correlation

粉葛为豆科葛属植物，素有“亚洲人参”“南葛北参”之美誉（杨旭东等，2014），2014年被我国国家卫生健康委员会认定为药食两用植物。广西是粉葛的传统种植区域，种植历史可追溯至清代，每年的种植面积均达 40 万亩。粉葛块根富含淀粉、脂肪、氨基酸、纤维素、铁、钙、铜、硒等人体所需的营养及矿质元素（李臻等，2011），常被加工成葛粉、葛面、葛酒、葛根饮品、葛根饼干等系列产品（尚小红等，2021），食品开发前景广阔。粉葛块根还含有葛根素、大豆苷、大豆苷元、染料木素等异黄酮物质，具有清热、解毒、解肌、生津、

透疹、升阳和止泻等作用，《中国药典第一部》（国家药典委员会，2015）规定，葛根素含量达到 0.3%以上的粉葛块根可用于药用。可见，粉葛具有很高的食用和药用价值。粉葛开发利用的部位主要是块根，葛根的叶、藤、根头等部位大多直接丢弃，少量用作饲料，其综合利用率较低。此外，采收时间是影响中药材质量的关键因子（胡少伟等，2018；严华等，2019；周赛男，2019），确定药食两用植物粉葛的适宜采收时期，对其开发利用至关重要。因此，掌握不同部位、不同时期粉葛主要营养物质及异黄酮成分的积累规律，对粉葛的综合开发利用及最佳采收期的确定具有重要指导意义。

异黄酮类物质和葛根素是葛根的主要药用成分，其含量是评价葛根药用价值的主要指标。王德立（2008）发现野葛的葛根素和异黄酮含量在 6 月份最高，11 月份次之，综合考虑单株块根中葛根素和异黄酮总量，认为 5 年生野葛在 11 月采收具有最高的利用价值。潘玲玲等（2011）发现 4 至 5 年生野葛的块根葛根素含量最高，每年的 11—12 月野葛块根的葛根素含量达到全年最高值。段海燕（2016）认为野葛的异黄酮类成分主要分布在韧皮部和木质部中，周皮的含量最低，而韧皮部的含量高于木质部。Son 等（2019）发现野葛的块根中提取物中主要的异黄酮物质为是葛根素，而葛叶提取物中主要的异黄酮物质是染料木素。曾慧婷等（2022）发现粉葛的总异黄酮含量在不同部位中的分布为根＞茎＞叶，粉葛根中异黄酮类成分含量在 10 月达到最高，葛茎中异黄酮类成分的积累量在 7 月和 12 月达到最大，葛叶中异黄酮类成分的积累量在 10 月达到最高。不同区域、不同部位收获期葛的葛根素、大豆苷元等存在差异（刘逢芹等 2006；马树运等，2015；李琳，2015；刘玉等，2022）。当前，葛根的异黄酮物质的积累规律研究主要集中在野葛上，对粉葛的异黄酮成分积累规律的研究还处于初级阶段，还需大量深入细致的系统性研究，来全面揭示粉葛的异黄酮物质的分布规律，以达到粉葛利用的最大化。淀粉、多糖、蛋白质、性膳食纤维是葛根重要的食用品质指标。谭小燕等（2014 年）发现多年生野葛的淀粉在 11 月至翌年的 2 月的淀粉含量最高。纪宝玉等（2013）发现野葛中多糖在每年的 8、9 月份的含量最高；郭丽君等（2018 年）发现桂粉葛 1 号的淀粉在 6—12 月份之间呈现逐渐增大的规律，在 11—12 月份达到最大。

目前，对粉葛的多糖、蛋白质、膳食纤维素的积累规律及主要营养物质与异黄酮成分积累之间的关系研究均未见报道。不同品种、不同地点粉葛收获期的可溶性糖、淀粉、总膳食纤维、蛋白质、脂肪等营养物质存在差异（张应等，2013；李杏元，2016；朱盼和谢娟平 2019）。成熟期，粉葛农艺性状、碳水化合物与异黄酮具有一定的相关关系（顾彩霞，2019；黄秋连等，2021）。本试验在前人的研究基础上，分析粉葛成熟期的叶、上藤、中藤、下藤、根头、块根各部位的异黄酮含量，探索不同时期粉葛的淀粉、多糖、可溶性蛋白质、粗蛋白、可溶性膳食纤维素、不溶性膳食纤维积累量的动态变化，并分析各营养物质与异黄酮成分积累的相关性，进一步丰富和细化了粉葛的淀粉、多糖、葛根素、黄酮物质等物质的积累规律，并首次研究粉葛的蛋白质、纤维素的积累规律及营养物质与异黄酮成分之间的相关性。旨为阐明粉葛主要营养物质、异黄酮成分的积累规律及其相关性，明确粉葛的最佳采收时期、各部位的应用价值及营养物质与异黄酮成分积累的相关性，为粉葛的综合开发利用以及采收时期的确定提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料种植和取样处理

试验于 2020—2021 年在广西壮族自治区农业科学院里建科研基地进行。该试验基地年平均气温为 22.2 ℃，年均降雨量为 1 386.9 mm；土壤背景平均 pH 为 6.6，土壤碱解氮的平均含量为 92.2 $mg \cdot kg^{-1}$，有效磷的平均含量为 42.8 $mg \cdot kg^{-1}$，速效钾的平均含量为 50.21 $mg \cdot kg^{-1}$，有机质的平均含量为 26.22 $g \cdot kg^{-1}$。以健壮、无病虫害、长势一致的广西藤县粉葛

苗为试验材料，于 2020、2021 年的 3 月中旬种植，2021、2022 年 1 月收获，采用单行单垄种植，垄间距为 150 cm，垄高 50 cm，株间距为 50 cm，行间距为 150 cm，种植 300 株，设置 3 次重复；基肥每亩施用商用生物有机肥 400 kg，植后 90 d 每亩追施复合肥（$N:P_2O_5:K_2O$=15:15:15）50 kg，植后 120 d 每亩追施复合肥（$N:P_2O_5:K_2O$=12:11:18）50 kg；打架引蔓，每株留一个薯；其他按照粉葛的常规高产栽培方式进行栽培管理。

试验分别在 8 月中旬（植后 150 d）、9 月中旬（植后 180 d）、10 月中旬（植后 210 d）、11 月中旬（植后 240 d）、12 月中旬（植后 270 d）、1 月中旬（植后 300 d）共 6 个生长时期采集块根样品，并采集成熟期（12 月份）粉葛的叶片、上藤、中藤、下藤、根头、块根样品。每个时期采集 9 株长势一致的粉葛植株，进行测定。上藤、中藤、下藤的取样方法是把粉葛的主藤平均分成 3 段，由顶端至基部分别为上藤、中藤、下藤；根头的取样方法是粉葛主藤与块根连接的膨大部位；块根取整薯。材料经切片烘干后，105 ℃杀青 30 min 左右，75 ℃烘干至恒重，然后粉碎，保存于干燥阴凉处，用于各指标的测定。

1.2 测定指标和方法

样品送至广西桂林锐德检测认证技术有限公司进行淀粉、可溶性蛋白质、总多糖、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸、可溶性膳食纤维、不溶性膳食纤维、葛根素、大豆苷、大豆苷元、染料木素等物质含量的测定。其中：淀粉、可溶性蛋白质、多糖、氨基酸分别使用苏州梦犀生物医药科技有限公司淀粉含量测试盒（M1101A）、可溶性蛋白质含量测试盒（M1806A）、总多糖含量测试盒（M1505A）和氨基酸含量测试盒（M0501A）进行检测；粗蛋白采用微量凯氏定氮法测定（GB5009.5-2016）；可溶性膳食纤维、不溶性膳食纤维采用酶重量法测定（GB5009.88-2014）；粗脂肪采用索氏抽提法测定（GB5009.6-2016）；葛根素、大豆苷、大豆苷元、染料木素采用高效液相色谱检测（徐桂新等，2020）；总异黄酮采用紫外分光光度计进行测定（谭栀恩等，2021）。

1.3 试验数据分析

试验数据采用 SPSS 17.0 进行方差分析、相关性分析。

2 结果与分析

2.1 粉葛成熟期不同部位异黄酮成分的分布情况

由表 1 可知，在成熟期，粉葛不同部位的染料木素的含量的变化不显著，而粉葛不同部位的总异黄酮、葛根素、大豆苷的含量变化较大，其中总异黄酮含量在粉葛各部位的大小顺序为根头＞下藤＞上藤＞中藤＞叶＞块根；葛根素含量在粉葛各部位的大小顺序为根头＞下藤＞中藤＞上藤＞块根＞叶；大豆苷含量在粉葛各部位的大小顺序为上藤＞中藤＞下藤＞根头＞叶＞块根，根头和藤蔓的总黄酮、葛根素含量均大于 1.00%。通过方差分析，发现根头和藤蔓（下藤、中藤、上藤）的总异黄酮、葛根素、大豆苷的含量显著大于叶和块根的含量。综合来看，根头、藤蔓有很高的药用价值，叶片的总异黄酮较高。

表 1 粉葛成熟期不同部位的异黄酮成分含量

Table1 Contents of isoflavone components in different parts of *Pueraria lobata* var. *thomsonii*

部位 Part	主要药用成分 Main medicinal ingredients				
	总异黄酮 Total isoflavone（$mg\cdot g^{-1}$）	葛根素 Puerarin（$mg\cdot g^{-1}$）	大豆苷 Daidzin（$mg\cdot g^{-1}$）	大豆苷元 Isoflavoues aglycone（$mg\cdot g^{-1}$）	染料木素 Genistein（$mg\cdot g^{-1}$）
叶片 Leaf	14.51±0.65b	0.24±0.03d	0.15±0.01c	0.03±0.01b	0.01±0.00a
上藤 Up of vine	31.91±2.40a	10.77±1.55b	1.67±0.16a	0.14±0.05ab	0.02±0.00a

中藤 Middle of vine	31.69±3.15a	10.80±2.25b	1.63±0.02a	0.18±0.04a	0.02±0.00a
下藤 Down of vine	33.00±4.6a	12.05±2.08b	1.63±0.33a	0.12±0.02ab	0.02±0.00a
根头 Root apex	34.07±2.53a	14.95±1.06a	1.17±0.22b	0.14±0.12ab	0.01±0.00a
块根 Tuberon	4.87±0.65c	1.46±0.29c	0.10±0.02c	0.12±0.01ab	0.01±0.00a

注：小写字母表示差异显著（P<0.05）。下同。

Note: Lowercase letters indicate significant differences (P<0.05). The same below.

2.2 粉葛不同生长时期块根主要营养物质的积累变化

由表 2 可知，粉葛的淀粉、多糖、可溶性蛋白质均呈先增大后减小的变化趋势，其中淀粉在 11 月、12 月达到最大值且显著大于其他 4 个时期，多糖、可溶性蛋白质在 11 月达到最大且显著大于其他 5 个时期。粗蛋白的含量呈先减小后增大再减小，在 11 月达到最大值；不溶性膳食纤维含量呈先增大后减小再增大，可溶性膳食纤维含量呈先减小后增大再减小，两者呈此消彼长的变化规律，不溶性膳食纤维含量在 9 月、10 月达到最大且显著大于其他时期，可溶性膳食纤维含量在 8 月、12 月显著大于其他时期。整体看来，淀粉、多糖、粗蛋白、可溶性蛋白、可溶性膳食纤维在 11 月、12 月达到最大，且在 10—11 月均有一个快速上升的阶段。因此，粉葛在 11 月、12 月采收的营养价值最佳，且营养物质积累的关键时期是 10—11 月。

表 2 不同生长时期粉葛营养物质的积累量

Table 2 Nutrient accumulation of *Pueraria lobata* var. *thomsonii* at different stages

时期 Period	淀粉 Starch （mg·g^{-1}）	总多糖 Total polysaccharides （mg·g^{-1}）	粗蛋白 Crude protein （mg·g^{-1}）	可溶性蛋白质 Soluble protein （mg·g^{-1}）	不溶性膳食纤维 Insoluble dietary fiber （%）	可溶性膳食纤维 Soluble dietary fiber （%）
8 月 August	106.37±5.34d	67.00±3.40e	101.12±13.38ab	60.21±8.48c	38.05±2.61b	3.39±0.42a
9 月 September	378.6±24.06c	156.11±12.54c	95.60±3.11ab	62.48±3.87c	49.72±2.49a	1.82±0.71bc
10 月 October	423.34±31.74c	237.91±11.98b	87.05±9.26bc	63.68±3.66c	45.35±6.21a	1.74±0.42bc
11 月 November	744.18±32.39a	263.49±24.13a	102.83±1.52a	79.75±3.67a	26.62±4.28c	2.36±0.49ab
12 月 December	727.65±18.54a	213.18±15.55b	93.26±6.86ab	68.35±3.86b	14.17±1.38d	3.17±1.15a
1 月 January	551.06±25.14b	129.51±8.46d	77.67±2.10c	51.32±3.17d	24.65±4.96cd	0.83±0.38c

2.3 粉葛不同生长期块根主要异黄酮成分的积累变化

通过测定不同生长时期粉葛块根的异黄酮成分的含量，由表 3 可知，发现粉葛不同生长时期的总异黄酮、大豆苷、大豆苷元、染料木素的含量呈逐渐下降的变化趋势，其中 8 月、9 月的含量最大且显著大于其他 5 个时期；葛根素含量变化呈先增大后减小的变化趋势，其中 9 月的葛根素含量达到最大且显著大于其他 5 个时期。总体来看，粉葛的异黄酮成分在 8 月、9 月的含量最大，此时粉葛的药用价值最高。

表 3 不同生长时期粉葛异黄酮物质的积累量

Table 3 Isoflavone substance accumulation of *Pueraria lobata* var. *thomsonii* at different stages

时期 Period	主要药用成分 Main medicinal ingredients				
	总异黄酮 Total isoflavone （mg·g^{-1}）	葛根素 Puerarin （mg·g^{-1}）	大豆苷 Daidzin （mg·g^{-1}）	大豆苷元 Isoflavoues aglycone （mg·g^{-1}）	染料木素 Genistein （mg·g^{-1}）
8 月 August	19.10±2.08a	5.59±0.77b	1.41±0.07a	0.6±0.09a	0.06±0.006a

9 月 September	15.59±1.06b	7.00±0.41a	0.96±0.06b	0.34±0.03b	0.05±0.009a
10 月 October	7.35±1.01c	2.46±0.47c	0.24±0.02c	0.2±0.23c	0.03±0.001b
11 月 November	4.95±0.38d	1.44±0.06d	0.12±0.02d	0.1±0.06c	0.01±0.002b
12 月 December	4.87±0.65d	1.46±0.29d	0.10±0.02d	0.12±0.01c	0.01±0.004b
1 月 January	3.85±0.56d	1.10±0.22d	0.10±0.06d	0.09±0.01c	0.01±0.001b

2.4 粉葛总异黄酮、葛根素的积累与主要营养物质积累之间的相关性

通过相关性分析，从表 4 可以看出，总异黄酮与葛根素之间呈极显著正相关关系，与淀粉及总多糖呈极显著负相关，与不溶性膳食纤维成显著正相关；葛根素与不溶性膳食纤维呈极显著正相关，与淀粉及总多糖呈显著性负相关。因此，总异黄酮和葛根素的积累与淀粉、多糖、不溶性膳食纤维密切相关。

表 4 粉葛总异黄酮、葛根素的积累与主要营养物质积累之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between accumulation of total isoflavone, puerarin and main nutrients in *Pueraria lobata* var. *thomsonii*

指标 Index	总异黄酮 Total isoflavone	葛根素 Puerarin	淀粉 Starch	总多糖 Total polysaccharides	粗蛋白 Crude protein	不溶性膳食纤维 Insoluble dietary fiber	可溶性膳食纤维 Soluble dietary fiber
总异黄酮 General isoflavone	1	0.93**	-0.77**	-0.65**	0.42	0.59*	0.45
葛根素 Puerarin		1	-0.59*	-0.53*	0.40	0.68**	0.28
淀粉 Starch			1	0.89**	-0.05	-0.38	-0.28
总多糖 Total polysaccharides				1	0.11	-0.17	-0.20
粗蛋白 Crude protein					1	0.08	0.34
不溶性膳食纤维 Insoluble dietary fiber						1	-0.53*
可溶性膳食纤维 Soluble dietary fiber							1

注：*表示显著相关（P<0.05）；**表示极显著相关（P<0.01）。

Note: * indicates significant correlation（P<0.05）; ** indicates extremely significant correlation（P<0.01）.

3 讨论

3.1 粉葛不同部位异黄酮物质的积累差异

段海燕通过解剖葛根块根结构，发现葛根素主要分布在韧皮部和木质部（段海燕，2016）；石旭等（2009）对葛根进行化学定位，结果表明葛根的异黄酮类物质主要贮藏在周皮的栓内层细胞、韧皮薄壁细胞、次生木质部、初生木质部等基本组织，暗示着葛根素等异黄酮类物质可能主要集中在木质部中。藤蔓和根头是粉葛的营养和水分的运输通道，起到支撑的作用，含有丰富的木质部结构，这就不难解释本研究中粉葛根头和藤蔓的异黄酮、葛根素、大豆苷的含量高于块根和叶片的含量。然而，潘玲玲等（2011）发现一年生野葛的块根与藤蔓的葛根素相当，且大于叶片的葛根素含量；曾慧婷等（2022）发现“赣葛 2 号”粉葛品种不同部位的葛根素、大豆苷含量的大小变化为根＞茎＞叶。两者研究结果与本研究结果存在明显差异，造成这种差异的原因可能是品种和地域不同。因此，有必要研究不同区域和不同品种各

部位积累异黄酮物质的规律，以找到共性规律，这也是本试验的下一步研究计划。

3.2 不同时期主要营养物质的积累规律

纤维素、淀粉均属于多糖。前人研究结果表明不同作物的多糖合成均有一个适宜温度，过高或过低的环境温度均不利于植物中多糖的积累，甜瓜、铁皮石斛、青钱松等植物的多糖积累的适宜温度被证实在20~25℃（郝敬虹等，2009；粟君等，2011；张春柳，2015；孟雨冉，2017）。广西在10月之前会出现一个持续性的高温天气，到了11—12月温度会下降到20~25 ℃，这一温度可能也是粉葛的多糖类物质积累的最佳温度，因此粉葛的淀粉、多糖、可溶性膳食纤维的含量在11—12月达到最高。研究者认为适量的高温会引起稻米蛋白含量增加（张桂莲等，2013；Cao et al., 2017），但也有学者认为高温对蛋白质的提高作用会因品种而异（孟亚利和周治国，1997）。本研究中粗蛋白、可溶性蛋白在温度较高的6—10月的积累量低于温度较低的11—12月的积累量，这说明适度的低温可能更有利于粉葛的蛋白质积累。此外，淀粉、多糖、蛋白质等物质均属于粉葛的储藏物质，在粉葛生长发育过程中不断得到积累，在11—12月粉葛的地上部分出现枯萎无法继续合成这些储藏物质，此时储藏物质的积累量达到最大；随后，为了维持粉葛地下部分的存活，这些储藏物质又被转化成其他能量物质，从而在1月份出现一个下降的过程。

3.3 不同时期粉葛的异黄酮物质的积累规律

葛根素、异黄酮类物质均属于黄酮物质，由肉桂酰辅酶A侧链延长后环化形成以苯色酮环为基础的酚类化合物，是次生代谢物。一定程度上，植物对环境胁迫可做出相应的抵御反应，而次生代谢及其产物是其生化反应基础，因此植物的次生代谢物的合成与环境因子有着密切的联系。拟南芥、茶树、烟草、柑橘等作物，通过适度的干旱胁迫会大量提高黄酮物质的积累量(Alininian et al., 2016; Wang et al., 2016; Song et al., 2016; Zandalinas et al., 2017)。在芹菜中，适度低温胁迫可以提高黄酮物质的积累（张萌，2017），而Wahid等（2007）则认为高温下植物中黄酮类物质含量呈现升高趋势。可见，环境胁迫可以提高黄酮物质的积累。广西每年的8—9月的温度和降雨量很高，这时的粉葛可能面临着严峻的高温、高湿的环境胁迫，从而产生更多的次生代谢产物葛根素、异黄酮物质。

3.4 粉葛主要营养物质与异黄酮成分积累的相关性

葡萄糖、果糖属于还原性糖，是合成淀粉、果胶、纤维素等多糖物质的重要底物，而还原糖物质参与到异黄酮类物质的合成（Zhang et al., 2021）。因此，淀粉、多糖与异黄酮类物质存在竞争底物的关系，从而出现粉葛的总异黄酮、葛根素的积累与淀粉、多糖呈显著负相关关系。然而，目前对总异黄酮物质与膳食纤维之间的相关关系的研究较少，它们之间的相互作用机制并不明确，有待进一步研究。

4 结论

粉葛的根头、藤蔓含有丰富的总异黄酮、葛根素、大豆苷，具有很好的开发利用价值；粉葛药用的最佳采收期在8—9月，粉葛食用的最佳采收期在11—12月，粉葛的淀粉、多糖的积累可能不利于异黄酮及葛根素的积累。

参考文献：

ALININIAN S, RAZMJOO J, ZEINALI H, 2016. Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced in cumin(*Cuminum cyminum* L.) accessions under different irrigation regimes[J]. Ind Crop Prod, 81: 49-55.

CAO ZZ, ZHAO Q, PAN G, et al., 2017. Comprehensive expression of various genes involved in storage protein synthesis in filling rice grain as affected by high temperature[J]. Plant Growth Regul, 81(3): 477-488.

DUAN HY, 2016. Study on the abnormal structure of pueraria root and its relationship with

isoflavones distribution and accumulation[D]. Hefei: Anhui University of Chinese Medicine. [段海燕，2016. 野葛块根的异常结构及其与异黄酮类成分分布积累关系研究[D]. 合肥：安徽中医药大学.]

GU CX, 2019. Quality evaluation of Kudzu from different regions and effect of fertilization on *Pueraria lobata var.thomsonii* quality[D]. Beijing: Bejing Forestry University. [顾彩霞，2019. 不同区域葛品质评价及施肥对粉葛品质的影响[D]. 北京：北京林业大学.]

GU ZP, CHEN BZ, FENG RZ, et al., 1996. Resource utilization and evaluation of radix puerariae and its congeners[J]. Acta Pharm Sin, 1996, 31(5): 387-393. [顾志平，陈碧珠，冯瑞芝，等，1996. 中药葛根及其同属植物的资源利用和评价[J]. 药学学报，31(5)：387-393.]

GUO LJ, 2018. Physiological and molecular basis of starch accumulation in *Pueraria lobata* var. *thomsoni*[D]. Nanning: Guangxi University. [郭丽君，2018. 葛根淀粉积累的生理及分子基础研究[D]. 南宁：广西大学.]

HAO JH, LI TL, MENG SD, et al., 2021. Sugar-metabolizing enzyme activities in melon fruit[J]. Sci Agric Sin, 42(10): 3592-3599. [郝敬虹，李天来，孟思达，等，2009. 夜间低温对薄皮甜瓜果实糖积累及代谢相关酶活性的影响[J]. 中国农业科学，42(10)：3592-3599.]

HUANG QL, XIE LX, YANG BS, et al., 2021. Study on the correlation between agronomic characters and quality of *Pueraria lobata*[J]. J Chin Med Mat, 44(7):1563-1568. [黄秋连，谢璐欣，杨碧穗，等，2021. 粉葛农艺性状与品质的相关性研究[J]. 中药材，44(7)：1563-1568.]

HU SW, ZHONG KR, YANG JY, et al., 2018. Study on the content difference of isoflavones in menthol stem and leaf at different harvesting period[J]. Chin J Chin Mat Med, 43(3): 544-550. [胡少伟，钟昆芮，杨佳颖，等，2018. 薄荷茎、叶中黄酮类成分在不同采收期的含量差异性研究[J]. 中国中药杂志，43(3)：544-550.]

JI BY, PEI LX, CHEN SQ, et al., 2013. Study on dynamic accumulation of polysaccharide content in *Pueraria lobata* var. *thomsonni* at different growth stages[J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 19(16): 63-65. [纪宝玉，裴莉昕，陈随清，等，2013. 葛根不同生长期多糖含量的动态积累研究[J]. 中国实验方剂学杂志，19(16)：63-65.]

LI L, 2015. The nutrients evaluation of the cultivated kudzu (*Pueraria thomsoii* Benth) and food safety evaluation of its vine.[D]. Changsha: Central South University. [李琳，2015. 栽培粉葛的营养特性及葛藤的安全性评价[D]. 长沙：中南大学.]

LI XY, 2016. Determination and comparative analysis of trace mineral elements in *Pueraria lobata* in Dabie Mountain[J]. J Huanggang Polytechnic,18(4): 94-96. [李杏元，2016. 大别山葛根微量矿质元素测定及对比分析[J]. 黄冈职业技术学院学报，18(4)：94-96.]

LI Z, LAI FR, WU H, 2011. Analysis of the nutritional components of Kudzu vine root[J]. Mod Food Sci Technol, 27(8): 1010-1011. [李臻，赖富饶，吴晖，2011. 葛根的营养成分分析[J]. 现代食品科技，27(8)：1010-1011.]

LIU FQ, LI HJ, ZHOU YX, et al., 2006. Comparison on contents of flavonoids and puerarin from diffrent parts of *Pueraria lobata* in different gathering times[J]. J Plant Resour Environ, 15(2):79-80. [刘逢芹，李宏建，周扬星，等，2006. 不同采集时间野葛不同部位总黄酮和葛根素含量比较[J]. 植物资源与环境学报，15(2)：79-80.]

LIU Y, YUAN MY, GUO HJ, et al., 2022. Active compound content and antibacterial activity in different tissues of *Pueraria thomsonii* Benth from Enshi[J]. Food Res Dev, 43(3): 152-157. [刘玉，袁名远，郭汉玖，等，2022. 恩施地区粉葛不同组织活性成分含量与抑菌活性分析[J]. 食品研究与开发，43(3)：152-157 .]

MA SY, CHU JM, LI HF, et al., 2015. Study of secondary metabolites from different parts of *Pueraria mirifica*[J]. J Dali Univ,14(8): 8-10. [马树运，楚纪明，李海峰，等，2015. 泰国葛不同部位几种次生代谢产物的研究[J]. 大理学院学报，14(8)：8-10.]

MENG LY, ZHOU ZG, 1997. Relationship between rice grain quality and temperature during seed setting period[J]. Chin J Rice Sci,11(1): 51-54. [孟亚利，周治国，1997. 结实期温度与稻米品质的关系[J]. 中国水稻科学，11(1)：51-54.]

MENG YR, 2017. Influence factors against polysaccharide accumulation and sucrose metabolism of *Dendrobium officinale*[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University. [孟雨冉，2017. 铁皮石斛多糖积累与蔗糖代谢的影响因素研究[D]. 杭州：浙江农林大学.]

National health and family planning commission of the People's Republic of China, 2016. GB 5009.88-2014 National food safety standards food determination of dietary fibre[S]. State Food and Drug Administration. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，2016. GB 5009.88-2014 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定[S]. 国家食品药品监督管理总局].

National health and family planning commission of the People's Republic of China, 2017. GB 5009.5-2016 National food safety standards determination of protein in foods[S]. State Food and Drug Administration. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，2017. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 国家食品药品监督管理总局].

National health and family planning commission of the People's Republic of China, 2017. GB 5009.6-2016 National food safety standards determination of fat in food[S]. State Food and Drug Administration. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会，2017. GB 5009.6-2016. 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]. 国家食品药品监督管理总局].

National Pharmacopoeia.Commission, 2015. Chinese Pharmacopoeia I[M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine:1-10. [国家药典委员会，2015. 中国药典第一部[M]. 北京中国医药科技出版社：1-10.]

PAN LL, REN J, JIANG JM, 2011. Studies on the accumulation dynamics of puerarin in *Pueraria lobata* var. *thomsonni*[J]. Mod Chin Med, 13(9): 15-17. [潘玲玲，任江剑，江建铭，2011. 野葛葛根素积累动态的研究[J]. 中药现代中药，13(9)：15-17.]

SHANG XH, CAO S, YAN HB, et al., 2021. Development status and countermeasures of *Pueraria lobata*（Willd.）Ohwi var. *thomsoni*（Benth.）van der Maesen industry in Guangxi[J]. J S Agric, 52(6): 1510-1519. [尚小红，曹升，严华兵，等，2021. 广西粉葛产业现状分析及其发展建议[J]. 南方农业学报，52(6)：1510-1519.]

SHI X, LI MD, TAN KL, et al., 2009. Anatomical structureand histochemical localizationof main chemical composition of Kudzu[J]. J Mount Agric Biol, 28(4): 306-309. [石旭，李牡丹，谭凯丽，等，2009. 葛根的解剖结构及主要化学成分的组织化学定位[J]. 山地农业生物学报，28(4)：306-309.]

SON EJ, YOON JM, AN BJ, et al., 2019,Comparison among activities and isoflavonoids from *Pueraria thunbergiana* aerial parts and root[J]. Molecules, 5, 24(5): 912.

SONG XY, DIAO JJ, JI J, et al., 2016. Molecular cloning and identification of a flavanone 3-hydroxylase gene fromLycium chinense, and its overexpression enhances drought stress in tobacco[J]. Plant Physiol Biochem, 98: 89-100.

SU J, FANG SZ, LI Y, 2011. Effects of different temperature on polysaccharide content of *Cyclocarya paliurus* seedlings[J]. J For Eng, 2: 52-55. [粟君，方升佐，李彦，2011. 温度及种源对青钱柳多糖含量的影响[J]. 林业工程学报，2：52-55.]

TAN XY, LI DB, LIN ZX, et al., 2014. Study on the regulation of starch and total flavone dynamic content in *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi from northeast mountain wild of Chongqing[J]. Chin Med Herald,11(6): 87-89. [谭小燕，李达斌，林中翔，等，2014. 渝东北山区野葛中葛粉与总黄酮含量动态变化研究[J]. 中国医药导报，11(6)：87-89.]

TAN ZN, WU FF, ZHANG ML, et al., 2021. Determination of germplasm resources total flavonoids in *Pueraria lobata* and *P. thomsonii* from different areas of Guangxi[J]. Guangdong Chem Ind, 21(48): 159-161. [谭栀恩，吴芳芳，张孟丽，等，2021. 广西不同产地野葛及粉葛种质资源总黄酮含量测定[J]. 广东化工，21(48)：159-161.]

WAHID A, GELANI S, ASHRAF M, et al., 2007. Heat tolerance in plants: An overview[J]. Environ & Exp Bot, 61(3): 199-223.

WANG DL, 2008. Determination on optimum harvesting period and evaluation quality of *Pueraria lobata* (Willd) Ohwi [M. D. dissertation][M]. Chongqing: Southwest University. [王德立，2008. 野葛适宜采收期的确定与品质评价[M]. 重庆：西南大学.]

WANG WD, XIN HH, WANG ML, et al., 2016. Transcriptomic analysis reveals the molecular mechanisms of drought- stress -induced decreases in *Camellia sinensis* leaf quality[J]. Front Plant Sci, 7: 385-396.

XU GX, XIONG XF, WU CY, et al., 2020. Simultaneous determination of 5 isoflavones in Radix Puerariae by HPLC[J]. NW Pharm J, 35(1): 29-32. [徐桂新，熊贤锋，吴春燕，等，2020. HPLC 法同时测定葛根中 5 种异黄酮的含量[J]. 西北药学杂志，35(1)：29-32.]

YAN H, WEI F, MA SC, 2019. Analysis on the source and quality of cattail[J]. Chin Pharm Affairs, 33(12): 1424-1433. [严华，魏锋，马双成，2019. 蒲黄的来源及采收加工相关质量问题分析.中国药事，33(12)：1424-1433.]

YANG XD, WANG AQ, HE LF, 2014. Research progress of Radix Pueratiae germplasms and its utilization[J]. Chin Agric Sci Bull, 30(24): 11-16. [杨旭东，王爱勤，何龙飞，2014. 葛根种质资源及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报，30(24)：11-16.]

ZANDALINAS SI, SALES C, BELTRÁN J, et al., 2017. Activation of secondary metabolism in citrus plants is associated to sensitivity to combined drought and high temperatures[J]. Front Plant Sci, 7: 1-17.

ZENG HT, ZHANG YY, CHEN C, et al., 2022. Analysis on dynamic accumulation of flavonoids in different parts of kudzu at different growth stages and evaluation[J]. Jiangxi J Tradit Chin Med, 2 (53): 65-68. [曾慧婷，张媛媛，陈超，等，2022. 不同生长期粉葛不同部位中异黄酮类成分动态积累分析与评价[J]. 江西中医药，2 (53)：65-68.]

ZHANG CL, 2015.Study on the effects of the content of polysaccharides and mechanism under the different temperature between day and night in *Dendrobium officinale* PLBS[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [张春柳，2015. 昼夜温差对铁皮石斛原球茎多糖含量的影响及机理研究[D]. 福州：福建农林大学.]

ZHANG GL, ZHANG ST, WANG L, et al., 2013. Effects of high temperature at different times during the heading and filling periods on rice quality[J]. Sci Agric Sin, 46(14): 2869-2879. [张桂莲，张顺堂，王力，等，2013. 抽穗结实期不同时段高温对稻米品质的影响[J]. 中国农业科学，46(14)：2869-2879.]

ZHANG M, 2017. Effects of temperature, drought and UV-B irradiation time on celery growth and flavonoids accumulation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. [张萌，2017. 温度、干旱和 UV-B 照射时间对芹菜生长及黄酮类物质积累的影响[D]. 南京：南京农业大学.]

ZHANG S, YANG J, LI HQ, et al., 2021. Cooperative regulation of flavonoid and lignin

biosynthesis in Plants[J]. Crit Rev Plant Sci, 40(2): 106-126.

ZHANG Y, LI LY, SHU S, et al., 2013. Determination of soluble sugar and starch in *Pueraria lobata* from different producing areas, cultivars and harvesting periods[J]. J Chin Med Mat, 36(11):1751-1754. [张应，李隆云，舒抒，等，2013. 不同产地、品种及采收期粉葛可溶性糖和淀粉的含量测定[J]. 中药材，36(11)：1751-1754.]

ZHOU SN, 2019. Study on the quality of *Zizyphus jujube* kernel and mulberry white bark[J]. Taiyuan: Shanxi Medical university. [周赛男，2019. 酸枣仁及桑白皮质量研究[J]. 太原：山西医科大学.]

ZHU P, XIE JP, 2019. Determination and comparison of seven chemical constituents in different parts of *Pueraria lobata* from different producing areas[J]. Chem Bioeng, 36(7): 59-64. [朱盼，谢娟平，2019. 不同产地粉葛不同部位中 7 种化学成分的含量测定与比较[J]. 化学与生物工程，36(7)：59-64.]